

# Hálózati Algoritmusok

## 2. Fizikai háttér

### Fizikai alapok

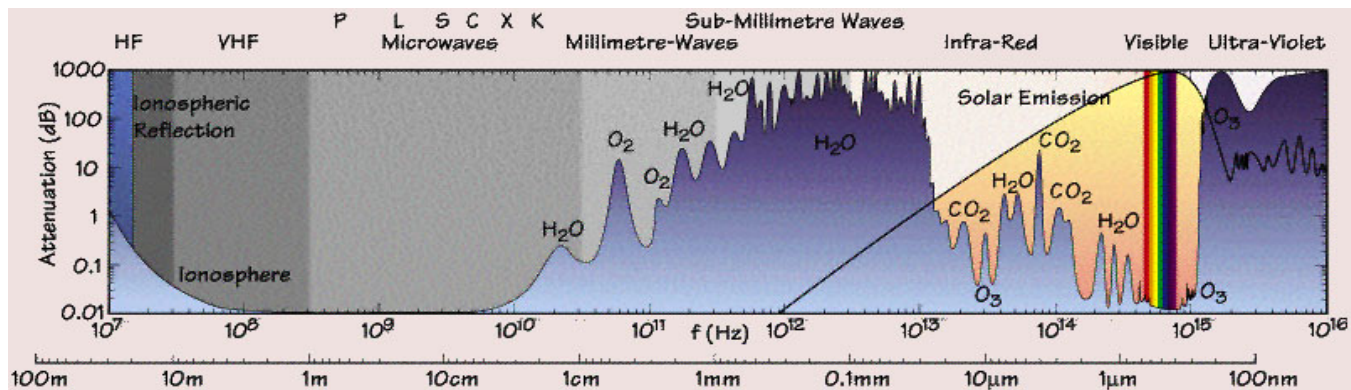
- Mozgó elektromosan feltöltött részecskék **elektromágneses hullámokat** keltenek
  - **Frekvencia  $f$**  : oszcillációk száma másodpercenként
    - mértékegység: **Hertz**
  - **Hullámhossz  $\lambda$** : távolság (méterben) két egymást követő hullám-maximum között
  - **Antenna** által kelthető illetve fogható elektromágneses hullám
  - Elektromágneses hullámok terjedési sebessége vákuumban konstans: **fénysebesség  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s**
- **Összefüggés:**

$$\lambda \cdot f = c$$



## Különböző frekvenciák alkalmassága – Elnyelődés

- Az elnyelődés függ a frekvenciától
- **frekvencia-szelektív csatornát** eredményezhet
  - Ha a sávszélesség különböző elnyelődési tulajdonságú frekvenciákat tartalmaz



## Zaj és interferencia

- Ha csak egy átvitelt feltételezünk:
  - Az egyetlen zavaró tényező: a jel ön-interferenciája, ami abból adódik, hogy a jel több úton érkezik meg (multi-path fading)
- A gyakorlatban két további zavaró tényező
  - **Zaj** – a fogadó rádió interfész elektronikájának hatása, ami a hőmérséklettől is függ
    - Tipikus model: egy Gauss vals. Változó hozzáadása, középérték 0, időtől nem függ
  - **Interferencia** amit harmadik résztvevő okoz
    - Co-channel interferencia: egy másik adó ugyanazt a spektrumot használja
    - Adjacent-channel interferencia: egy másik adó más részét használja a rádió spektrumnak, de a fogadó filtere nem tudja ezt teljesen kiszűrni
- Hatás: A fogadott jelet torzítja a csatorna és a jel meghibásodik a zaj és az interferencia miatt

## Szimbólumok és bit hibák

- Kinyerni a szimbólumokat torzított/meghibásodott jelekből, hibákat eredményez
  - Alapvetően a fogadott jel erőségétől függ összehasonlítva a zavarással
  - Ezt a **signal to noise and interference ratio (SINR)** adja meg. Decibellben megadva:

$$\text{SINR} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{\text{recv}}}{N_0 + \sum_{i=1}^k I_i} \right)$$

- SINR lehetővé teszi a **bit error rate (BER)** kiszámolását egy adott modulációhoz
  - Ez a moduláció adatrátájától is függ (# bit/szimbólum)

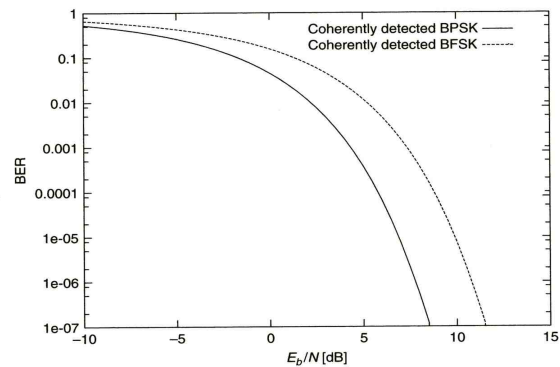


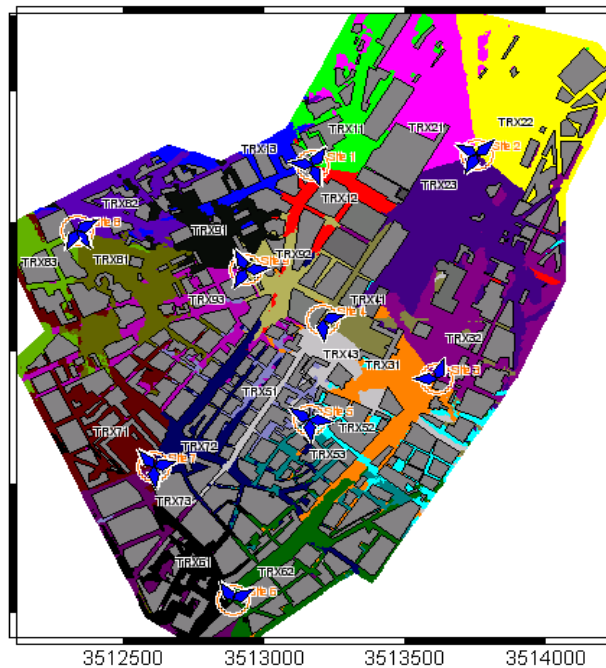
Figure 4.7 Bit error rate for coherently detected binary PSK and FSK

## A médium megosztása

- Tér-Multiplexálás
  - Földrajzi távolság
  - Irányított antennák
- Frekvencia-Multiplexing
  - Az adókhöz különböző frekvenciákat rendelünk
- Idő-Multiplexálás
  - Az adókhöz különböző idő-slot-okat rendelünk
- Spread-spectrum kommunikáció
  - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
  - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- Code Division Multiplex

## Space Division Multiple Access - Celluláris hálózat

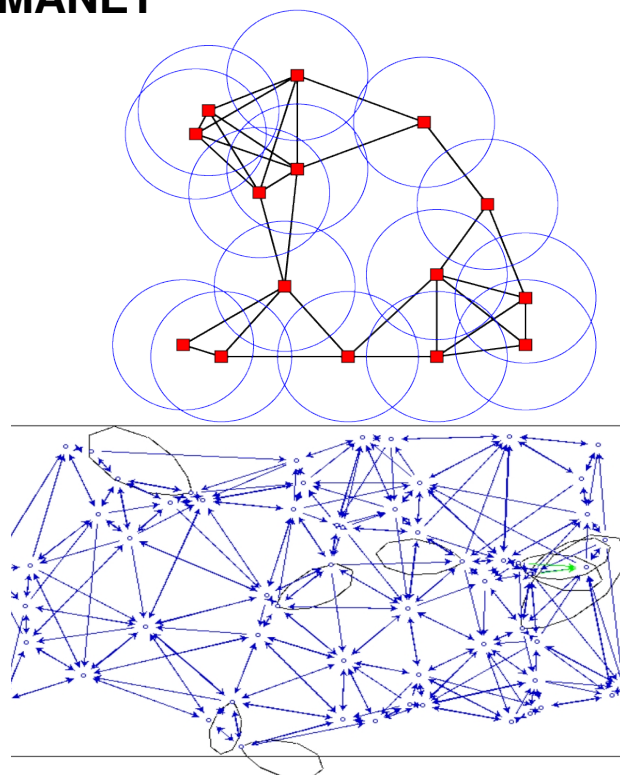
- Celluláris hálózat
  - Mobil egységek a legközelebbi bázisállomást használják
  - (Ideális esetben) a tér Voronoi diagram felosztásához vezet
- Irányított antennák
  - Minden bázisállomás területét kisebb részekre osztja
- Energia kontroll
  - Bázisállomás sok résztvevővel csökkenti a küldési energiát
  - Így szomszédos bázisállomások át tudnak venni résztvevőket a túlterhelt bázisállomástól



Prediction of UMTS cells Courtesy of AWE Communications

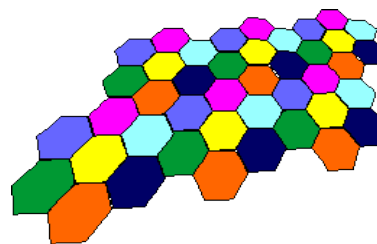
## Space Division Multiple Access: MANET

- A küldő energia kontrollja
  - Csökkenti a küldési energiát
    - Csökken az interferencia esélye
    - Növekszik az átvitel az ad hoc hálózatban
    - Csökken az energia felhasználás
  - Lehetőség többféle átviteli energiát használni
  - Időlegesen ki is lehet kapcsolni
    - csökkenti az energia felhasználást
- Irányított antennák
  - Nő a maximális átvitel
  - Csökken az energia felhasználás
  - Problémás a Medium hozzáférés



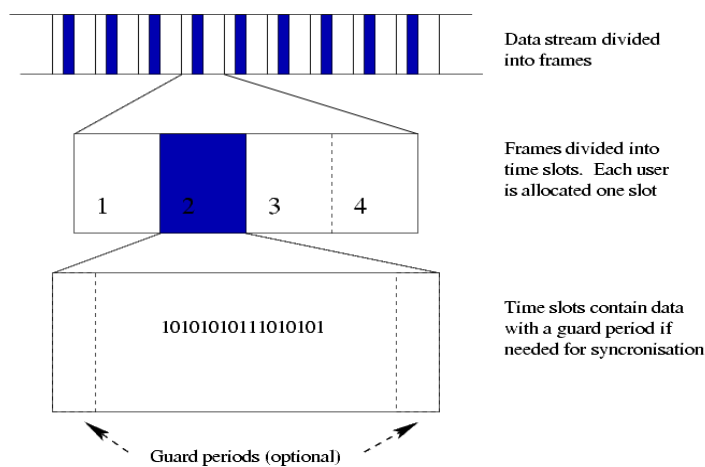
## Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- Szomszédos linkek vagy cellák különböző frekvenciát használnak
  - ezeknek frekvenciáknak megfelelő távolságra kell lenni
- Celluláris hálózatokban használják, pl. GSM, UMTS
- Allokáció
  - Kombinatorikusan nehéz probléma (szinezési probléma - NP-nehéz)
  - Statikus allokáció celluláris hálózatokhoz
  - Dinamikus allokáció szükséges mobil ad-hoc hálózatokhoz



## Time Division Multiple Access (TDMA)

- A résztvevőkhöz idő slotokat rendel
- Statikus vagy rugalmas hozzárendelés
- Tulajdonságok:
  - Egy frekvencia megosztható több felhasználó között
  - Slotokat hozzárendelhetjük igény szerint (on demand) is
- Felhasznált:
  - GSM, GPRS, UMTS,...
- Szokásos módszer MANET-ben



## Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

- Frekvenciát vált a jel átvitelekor
  - Feltalálók: Hedy Lamarr, George Antheil
- Slow hopping
  - A frekvencia váltás lassabb, mint egy jel
- Fast hopping
  - A frekvencia váltás gyorsabb, mint egy jel

## Spread-Spectrum kommunikáció: DSSS

- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
  - A jelet több sávon (frekvencián) viszi át
  - „Kiterjed” az egész frekvencia-spektrumra
- Eredetileg katonai alkalmazásra találták fel azzal a céllal, hogy minden frekvenciát zavarjanak
- Fázis moduláció pszeudo-random kód-szimbólumokkal
  - Szimbólumok halmazával, u.n. chip-ekkel, kódol egy bitet

## Code Division Multiple Access (CDMA)

- Olyan chip sorozatot használ, hogy minden adónak más chipje  $C$  van, amelyre
  - $C_i \in \{-1,+1\}^m$
  - $-C_i = (-C_{i,1}, -C_{i,2}, \dots, -C_{i,m})$
- Minden  $i \neq j$  a normalizált skalár szorzat 0:

$$C_i \bullet C_j = \frac{1}{m} C_i \cdot (C_j)^T = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m C_{i,k} C_{j,k} = 0 .$$

- Ha szinkronizált az átvitel, a fogadó az állomások chipjeinek egy lineáris kombinációját hallja
- A megfelelő chippel skalárszorzatot képezve dekódolja az üzenetet

## CDMA (Példa)

- Példa:
  - chip  $C_X = (+1,+1,+1,+1)$
  - chip  $C_Y = (+1,+1,-1,-1)$
  - chip  $C_Z = (+1,-1,+1,-1)$
- X küld: 0-t, Y küld 1-t, Z nem küld semmit:
  - $V = C_X + (-C_Y) = (0,0,2,2)$
- X chipjével visszakódolva:  $V \cdot C_X = (0,0,2,2) \cdot (+1,+1,+1,+1) = 4/4 = 1$ 
  - Az eredmény: 0 bit
- Y chipjével visszakódolva:  $V \cdot C_Y = (0,0,2,2) \cdot (+1,+1,-1,-1) = -4/4 = -1$ 
  - Az eredmény: 1 bit
- Z chipjével visszakódolva:  $V \cdot C_Z = (0,0,2,2) \cdot (+1,-1,+1,-1) = 0$ 
  - Az eredmény: nincs jel.